

I - A230 3次元付着効果を考慮したRC部材の引張硬化挙動の数値解析

九州大学 学生員 高畑 悟

九州大学 正会員 彦坂 熙

九州大学 正会員 Yuqing Liu

広島県 正会員 下原 裕司

1. 序論

RC構造の複雑な変形機構を明確にして、解析精度を向上させるためには、引張を受けるRC部材のひび割れ挙動、鉄筋とコンクリート間の付着すべり、およびこれらに基づく引張硬化現象の定量的評価を合理的に行う必要がある。本研究では、ボロノイ分割を用いた2次元の剛体-バネ系モデルを用いることにより、ふしとコンクリートのかみ合いおよび鉄筋周辺のコンクリートの変形の3次元効果を考慮し、鉄筋の降伏に至るRC部材の引張硬化挙動を考察する。

2. 解析手法

本研究では、コンクリート四角柱の中央部に異形鉄筋が1本配置された供試体の両引き試験を解析対象とし、対称性を考慮して断面の1/4の領域をモデル化する。2次元解析において供試体の3次元効果を考慮するために、図-1のように鉄筋上部のかぶりコンクリートを奥行き（X軸方向）の厚さを持つ単層要素（要素1）とし、鉄筋位置では、角柱体とする鉄筋（要素2）およびその背後にあって鉄筋要素と同一の平面形状を持つコンクリート（要素3）からなる2層要素を設ける。各要素を剛体とし、要素の重心点に2次元剛体変位の3自由度を与える。要素境界面に分布する垂直バネとせん断バネからなるバネ系を配し、このバネ系に蓄えられるひずみエネルギーを計算する。ただし、前面の鉄筋と背後のコンクリートの2層要素間にはバネを配置せず、この2層要素間（要素2、3）の力のかぶりコンクリート要素（要素1）を介して伝達させる。

本研究では、コンクリートの破損発生条件（図-2）を次式で与える。

$$\left. \begin{aligned} \tau_c &= \tau_0 - \sigma_c \tan \alpha & (\sigma_c \leq 0) \\ \tau_c &= \tau_0(1 - \sigma_c / f_t) & (0 < \sigma_c \leq f_t) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

ここに、コンクリートのせん断強度 τ_0 をその圧縮強度の14%とし、内部摩擦角 α は 54° とする¹⁾。ひび割れは、垂直応力 σ_c が引張強度 f_t を越えたときに生じる。ひび割れ発生後のコンクリートは応力を直ちに0とせず、引張軟化を考慮した破壊力学的手法を導入する。

鉄筋とコンクリート要素の接合面のすべり条件は、次式を用いる。

$$\tau_t = \sigma_t \tan \alpha \quad (2)$$

ここに、 α は摩擦角で、 $\tan \alpha = 0.45$ とする。 σ_t 、 τ_t は鉄筋とコンクリート要素の接合面の垂直及びせん断応力である。鉄筋については、降伏強度に達したバネの硬化剛度を $0.01E_s$ とする。

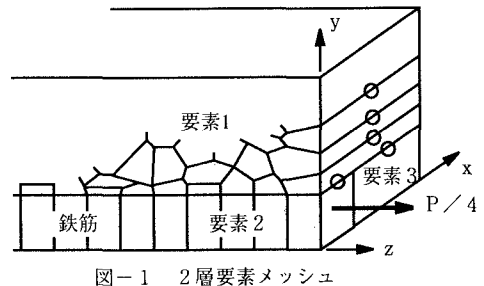


図-1 2層要素メッシュ

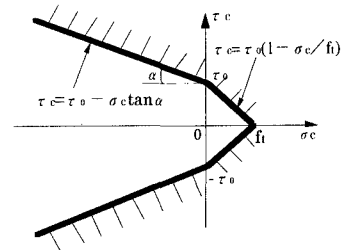


図-2 コンクリートの破損発生条件

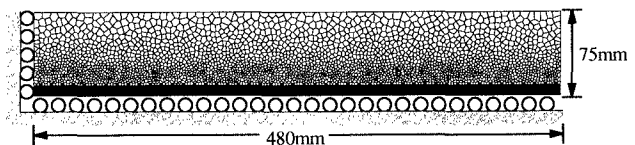


図-3 解析モデル

キーワード：剛体-バネモデル、引張硬化、付着応力

連絡先：〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1 九州大学工学部建設都市工学科 TEL&FAX：092-642-3262

3. 解析モデル

本解析では、3次元効果の妥当性を調べるために、図-3に示す供試体をNo.1、それを鉄筋軸の回りに90°回転させた同一の供試体をNo.2とし、それぞれシミュレートする。異形鉄筋のふしはそれぞれ鉄筋と別の要素で表現する。鉄筋径を $\phi 19\text{mm}$ とし、ふしの形状は長さ2.5mm、高さ1.7mm、およびふしの間隔は10mmとする。鉄筋およびふしは四角形要素に分割し、鉄筋上部のかぶりコンクリートについてはボロノイ分割によりランダムな多角形要素を発生させる。また、鉄筋とコンクリート間の付着面積に関しては、実際の円柱の鉄筋付着面積を用いることとし、鉄筋の円形断面を四角形断面に等置することにより、かぶりコンクリート要素と鉄筋要素の奥行きを $\pi \phi / 8$ （ ϕ ：鉄筋径）とする。

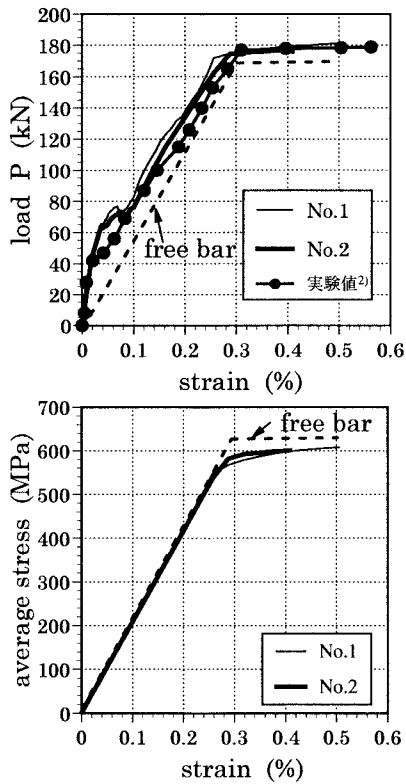


図-4 引張荷重および鉄筋の平均応力とひずみの関係

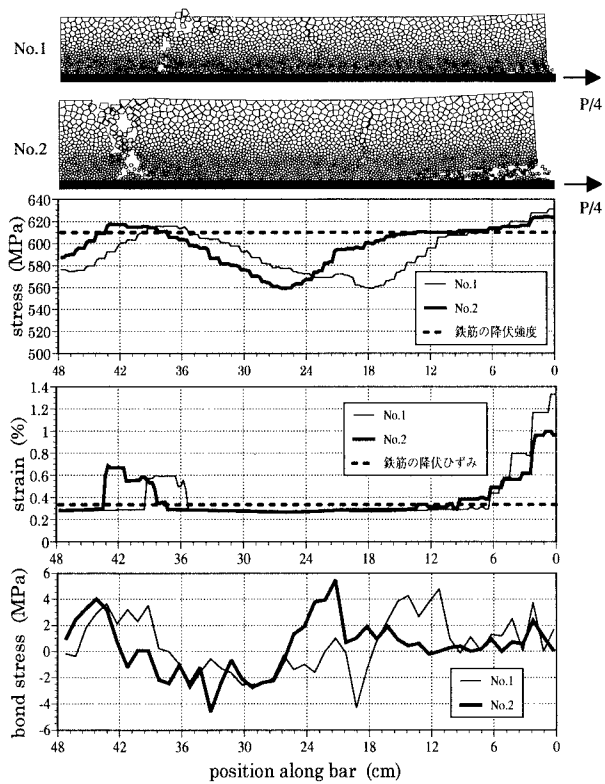


図-5 ひび割れ、鉄筋の応力およびひずみ分布、付着応力分布

4. 解析結果及び考察

図-4に、引張荷重および鉄筋の平均応力とひずみの関係を示す。鉄筋とコンクリートの付着作用のために、ひび割れ発生後も、ひび割れ間のコンクリートが引張力を負担するTension Stiffening効果が存在することが分かる。供試体No.1、供試体No.2の解析結果を比較するとよく一致しており、また解析結果は玉井らの実験結果²⁾に近似していることから、本2次元解析モデルで3次元効果が十分考慮できているといえる。

図-5に、降伏後におけるひび割れ、鉄筋の応力およびひずみ分布、付着応力分布を示す。これらの図より、ふし間隔以下のオーダーにまで局所化された鉄筋応力や付着応力などの情報が得られ、供試体の破壊現象と関連づけて、鉄筋とコンクリート間の付着特性をシミュレートできることが確認された。

参考文献

- (1) 三島 徹也他：土木学会論文集，No.442/V-16，1992.2. (2) 玉井 真一他：土木学会論文集，第378号/V-6，1987.2.